ICS 75.060
CCS E 24

# 中华人民共和国国家标准

GB/T 30491.2—2024/ISO 20765-2:2015

# 天然气　热力学性质计算
# 第2部分:扩展应用范围的单相(气相、液相和稠密相)流体性质

**Natural gas—Calculation of thermodynamic properties—Part 2:Single-phase properties(gas,liquid,and dense fluid) for extended ranges of application**

(ISO 20765-2:2015,IDT)

2024-03-15 发布　　2024-07-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会　发布

# 目　　次

前言 …… Ⅲ
引言 …… Ⅳ
1　范围 …… 1
2　规范性引用文件 …… 1
3　术语和定义 …… 2
4　方法的热力学基础 …… 3
4.1　原理 …… 3
4.2　亥姆霍兹自由能基本方程 …… 4
4.3　由亥姆霍兹自由能导出的热力学性质 …… 6
5　计算方法 …… 8
5.1　输入变量 …… 8
5.2　压力到对比密度的转换 …… 9
5.3　运算 …… 9
6　应用范围 …… 10
6.1　单纯气体 …… 10
6.2　二元混合物 …… 11
6.3　天然气 …… 13
7　状态方程的不确定度 …… 14
7.1　背景 …… 14
7.2　单纯气体性质计算的不确定度 …… 14
7.3　二元混合物性质计算的不确定度 …… 17
7.4　天然气热力学性质计算的不确定度 …… 18
7.5　其他性质的不确定度 …… 20
7.6　输入变量不确定度的影响 …… 20
8　结果报告 …… 20
附录A（规范性）　符号和单位 …… 22
附录B（规范性）　理想气体无量纲亥姆霍兹自由能 …… 25
附录C（规范性）　纯组分的临界参数和摩尔质量值 …… 30
附录D（规范性）　剩余无量纲亥姆霍兹自由能 …… 31
附录E（规范性）　密度和温度的无量纲函数 …… 44
附录F（资料性）　微量组分的赋值 …… 52
附录G（资料性）　实例 …… 54
参考文献 …… 57

# 前　言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则　第1部分:标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是GB/T 30491《天然气　热力学性质计算》的第2部分。GB/T 30491已经发布了以下部分:

——第1部分:输配气中的气相性质;

——第2部分:扩展应用范围的单相(气相、液相和稠密相)流体性质。

本文件等同采用ISO 20765-2:2015《天然气　热力学性质计算　第2部分:扩展应用范围的单相(气相、液相和稠密相)流体性质》。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国天然气标准化技术委员会(SAC/TC 244)提出并归口。

本文件起草单位:中国石油天然气股份有限公司西南油气田分公司天然气研究院、中国石油天然气股份有限公司塔里木油田分公司实验检测研究院、中国石油大学(北京)、哈尔滨工业大学、国家管网集团联合管道有限责任公司西气东输分公司、中国石油化工股份有限公司天然气分公司、中海油研究总院有限责任公司、国家石油天然气管网集团有限公司油气调控中心。

本文件主要起草人:张镨、罗勤、周理、韩慧、林青瑾、孟祥娟、袁泽波、张永学、张金亚、姜益强、郑文科、张佩颖、周雷、刘喆、李清平、姚海元、杨毅、刘松、李建刚。

# 引　言

GB/T 30491 给出了天然气热力学性质的计算方法，主要涉及集输天然气单相(气相、液相、超临界相)热力学性质、天然气气液两相热力学性质、天然气焦耳-汤姆逊系数以及黏度等迁移性质计算。与基于 AGA8-92DC 状态方程制定的 GB/T 17747.2 和 GB/T 30491.1 相比，本文件推荐方法的适用范围得到了拓展，其压力、温度适用范围拓展至 0.0 MPa～70.0 MPa 和 60.0 K～700.0 K，摩尔分数的适用范围也得到了拓展，对甲烷的摩尔分数低至 0.30 、氮气的摩尔分数高至 0.55、二氧化碳的摩尔分数高至 0.30、乙烷的摩尔分数高至 0.25、丙烷的摩尔分数高至 0.14、氢气的摩尔分数高至 0.40 和硫化氢的摩尔分数高至 0.27 的天然气的密度和声速等热力学性质参数均具有不错的计算准确度，适用于不同组成、不同相态天然气的热力学性质准确计算，对保障天然气高效开发及集输计量公平公正以及天然气工业的快速健康发展有积极的推动作用。

目前，ISO 20765 系列标准已发布第 1 部分、第 2 部分和第 5 部分，第 3 部分和第 4 部分仍在制定中，因此 GB/T 30491 拟由以下 5 部分构成。

——第 1 部分：输配气中的气相性质。目的是规定天然气、含人工掺和物的天然气和其他类似混合物仅以气体状态存在时的体积性质和热性质的计算方法。

——第 2 部分：扩展应用范围的单相(气相、液相和稠密相)流体性质。目的是规定天然气、合成燃料气体和类似混合物在单相状态(均匀气态、液态和稠密态)下的体积性质和热性质计算方法。

——第 3 部分：两相性质(气液平衡状态)。目的是规定天然气、合成燃料气体和类似混合物在气液平衡状态下的两相性质的计算方法。

——第 4 部分：物性值计算天然气性质。目的是规定利用天然气发热量、相对密度等参数获取物性参数的计算方法。

——第 5 部分：黏度、焦耳-汤姆逊系数和等熵指数的计算。目的是规定天然气(动力)黏度、焦耳-汤姆逊系数和等熵指数的简化算法。

# 天然气　热力学性质计算 第2部分:扩展应用范围的单相(气相、液相和稠密相)流体性质

## 1　范围

本文件规定了天然气、合成燃料气体和类似混合物在单相状态(均匀气态、液态和稠密态)下的体积性质和热性质计算方法。

注1:虽然本文件的主要应用对象是天然气、人造燃料气体和类似混合物,但其所提及的方法也适用于天然气各(纯)组分及与其他二元和多元混合物混合后的混合物的性质的高精度计算(在实验不确定度范围内)。

本文件推荐的方法适用于气体混合物的体积性质(压缩因子和密度)和热性质(例如焓、热容、焦耳-汤姆森系数和声速)的计算,在ISO 20765-1的适用压力、温度和组成范围[1],本方法的准确度至少与ISO 20765-1描述的计算方法相当。在某些情况下,如在温度为250 K～275 K时,本计算方法的计算准确度较ISO 20765-1显著提升。通常来说,本方法体积性质和声速的计算不确定度小于等于0.1%。本方法的模型结构比ISO 20765-1提及的更加复杂,也更能准确地描述均质气体、液体、超临界流体(稠密流体)以及气液平衡体系的体积性质和热性质。

注2:本文件中提及的所有不确定度均为包含区间为95%的扩展不确定度(包含因子$k=2$)。

在不增加计算不确定度的条件下,本方法也可在ISO 20765-1不适用的温度、压力和组成范围使用。例如,它适用于甲烷摩尔分数低至0.30、氮气摩尔分数高至0.55、二氧化碳摩尔分数高至0.30、乙烷摩尔分数高至0.25、丙烷摩尔分数高至0.14,以及氢气摩尔分数较高的天然气。该方法还可用于二氧化碳封存中高$CO_2$浓度混合物性质的计算。

本文件介绍的混合物热力学性质计算模型在整个流体区域内均适用。由于缺乏高质量的试验测试数据,天然气在液体和超临界流体(稠密流体)区域内的热力学性质参数的计算不确定度尚不能明确给出。对于液化天然气(LNG),在100 K～140 K的温度范围内,饱和液体密度的计算不确定度为(0.1～0.3)%,这与测试数据的不确定度相当。对各种二元混合物压缩流体,该模型在压力高达40 MPa时,密度的计算不确定度在±(0.1%～0.2%)之内,也与测试数据的不确定度相当。本文件描述的模型是基于二元混合物体系开发的高精度状态方程,是目前用于液相和超临界相天然气热力学性质计算的最准确的模型。

## 2　规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所用的修改单)适用于本文件。

ISO 7504　气体分析　词汇(Gas Analysis—Vocabulary)

注:GB/T 14850—2020　气体分析　词汇(ISO 7504:2015,IDT)

ISO 14532　天然气　词汇(Natural gas—Vocabulary)

注:GB/T 20604—2006　天然气　词汇(ISO 14532:2001,IDT)

ISO 20765-1　天然气　热力学性质计算　第1部分:输配气中的气相性质(Natural gas—Calculation of thermodynamic properties—Part 1:Gas phase properties for transmission and distribution ap-